

La astronomía de Ptolomeo y el caso Galileo: dos aportes histórico-epistemológicos*

Ptolemy's astronomy and the Galileo case:
two historical and epistemological considerations

GONZALO L. RECIO

Universidad de Quilmes-CONICET, Argentina
gonzalorecio@hotmail.com

Resumen. El caso Galileo es más famoso ejemplo del encuentro entre ciencia y Fe. El debate se centró, entre otros, en el campo de la epistemología y la historia de la ciencia. El artículo busca mostrar que las pretensiones galileanas de interpretar la hipótesis heliocéntrica de modo realista no constituyeron una novedad, sino que se enmarcan en la mejor tradición astronómica ptolemaica. Además, se argumenta que la hipótesis copernicana no inauguró, a causa de la introducción del movimiento terrestre, una nueva etapa de conflicto entre la astronomía y la física, sino que tal conflicto existía, al menos, desde tiempos de Ptolomeo.

Palabras clave: Almagesto; astronomía y física, Iglesia y ciencia.

* La investigación en cuyo marco se escribió este artículo recibió financiamiento del Proyecto de Investigación "An Epistemological Analysis of the Science and Religion Dialogue", radicado en la Pontificia Universidad Católica Argentina, y organizado por el Programa "Science, Philosophy and Theology, Latin American Perspectives" de la Oxford University y la Templeton Foundation.

Abstract. The Galileo case is the most famous example of the encounter between science and Faith. The debate was centered, among others, in the field of epistemology and the history of science. The paper shows that the Galilean pretensions of interpreting the heliocentric hypothesis in a realistic way did not constitute a novelty, but rather it was a continuation of the most important Ptolemaic astronomical tradition. It also argues that the Copernican hypothesis did not inaugurate, because of the introduction of the Earth's motion, a new phase of conflict between astronomy and physics. This conflict already existed, at least, since the times of Ptolemy.

Keywords: Almagest; astronomy and physics; Catholic church and science.

Introducción

El episodio más famoso en la historia de la cuestión “ciencia y religión” es, seguramente, el episodio Galileo. Luego de siglos de debate, el juicio al florentino continúa siendo, en la opinión pública, el caso paradigmático al momento de discutir los modos en que la Iglesia Católica se ha relacionado con la ciencia empírica a lo largo de la historia. Lejos de ser reductible a la imagen simple que muchas veces se presenta, el caso Galileo presenta una multiplicidad de aristas diversas: en primer lugar, y quizá centralmente, se encuentra la cuestión exegética: el debate entre los teólogos acerca de cómo es posible para un católico afirmar que la Escritura no yerra jamás, pues es Revelación divina, y al mismo tiempo aceptar como verdadero un modelo astronómico como el propuesto en la hipótesis copernicana, donde se propone que el Sol no se mueve, sino que se encuentra quieto en el centro del cosmos.¹ La dificultad principal a esta coexistencia se encuentra en un famoso pasaje del libro de Josué, donde el autor sagrado dice

[...] habló Josué a Yahvé, en presencia de Israel, y dijo: ‘Detente, sol, en Gabaón, y tú, luna, en el valle, de Ayalón.’ Y el sol se detuvo y la luna se paró hasta que el pueblo se vengó de sus enemigos. ¿No está esto escrito en el libro del Justo? El sol se paró en medio del cielo y no tuvo prisa en ponerse como un día entero (Jos. 10, 12–13).

¹ Es necesario aclarar que en el *De Revolutionibus*, la obra donde Copérnico expone *in extenso* su sistema, el centro del mismo no se encuentra en el Sol, sino en el centro de la órbita de la Tierra, que no coincide exactamente con aquél.

Otra cuestión relevante a tomar en cuenta son las circunstancias personales que rodeaban la relación entre Galileo y su círculo con las autoridades eclesiásticas. Este aspecto, que ciertamente influyó en el desarrollo de los hechos, ha sido estudiado con cierto detenimiento en las últimas décadas (Heilbron, 2010). En este artículo me interesa señalar, sin embargo, el aspecto histórico-epistemológico de la cuestión copernicana. Particularmente voy a discutir dos cuestiones que me parecen relevantes para evaluar el papel y la actitud de Galileo frente a la hipótesis copernicana que defendía ante las autoridades romanas. Voy a utilizar como punto de partida un discurso de S. Juan Pablo II, en el cual el Pontífice hace referencia, si bien sin explayarse mucho, a algunas cuestiones relativas a los aspectos epistemológicos del debate en los tiempos de Galileo. A partir de las reflexiones del Santo Padre, voy a discutir dos cuestiones que están directamente ligadas al modo en que la astronomía galileana se relacionaba con la astronomía ptolemaica. En primer lugar, voy a discutir algunos motivos históricos por los cuales Galileo Galilei podía considerarse justificado al momento de asumir una postura realista respecto de la hipótesis copernicana. En segundo lugar, voy a evaluar la relación entre astronomía y física en los tiempos de la disputa galileana para así poder considerar con mayor justeza las posibles tensiones que la hipótesis copernicana pudo haber causado hacia el interior de la comunidad científica de la época.

La finalidad de este artículo es clarificar el panorama de la epistemología contemporánea a Galileo para así contar con más elementos a la hora de juzgar las posiciones de cada parte en la discusión.

1. Galileo y la Comisión vaticana de S. Juan Pablo II

Uno de los momentos más significativos en la historia de la revisión del caso Galileo fue la creación de la Comisión Pontificia de Estudio del Caso Galileo en 1981, la cual trabajó hasta 1992, cuando se publicaron las conclusiones. El 31 de octubre de 1992 Juan Pablo II dio el discurso de cierre de la sesión plenaria de la Pontificia Academia de Ciencias, donde, para muchos, sinte-

tizó las conclusiones de la Comisión. En el punto 5 de la alocución, S. Juan Pablo II menciona que

[...] al igual que la mayoría de sus adversarios, Galileo no hizo distinción entre la mirada [approche] científica sobre los fenómenos naturales y la reflexión sobre la naturaleza de orden filosófico a la que tal mirada generalmente invita. Es por ello que rechazó la sugerencia que le fue hecha de presentar el sistema copernicano como una hipótesis, en tanto no había sido confirmado por pruebas irrefutables. Esta era una exigencia del método experimental del cual él mismo fue el inspirado fundador. (Juan Pablo II, 1992)²

En el mismo texto habla acerca de las lecciones que el caso Galileo suponen para los exégetas, e incluso dice que en este campo Galileo fue “más perceptivo”, citando, entre otros ejemplos, la famosa carta a Cristina de Lorena, calificándola como “[...] un breve tratado de hermenéutica bíblica [...]”. Este modo de ver el caso Galileo, que luego fue denominado por algunos como “la tesis del error mutuo”³ propone entonces que, por un lado, Galileo supo comprender mejor la relación entre ciencia y Escrituras que los propios teólogos. Por el otro, y respecto de la otra mitad del error mutuo, es claro que la mejor comprensión de aquéllos que hicieron la sugerencia de mantener al copernicanismo como una hipótesis –particularmente S. Roberto Belarmino– no se refiere a las cuestiones astronómicas en sí mismas consideradas sino a las cuestiones epistemológicas que estaban en el trasfondo de la discusión. Belarmino habría comprendido que, tal como Galileo presentaba la hipótesis, ésta no estaba probada, y por lo tanto no tenía derecho, incluso sin tomar en cuenta los problemas bíblicos implícitos en sus ideas, a presentarlo como una explicación correcta de la estructura del mundo.

Como señalé en la Introducción, pienso que hay al menos dos temas importantes para considerar, y ambos se relacionan con la afirmación

² Las traducciones de todas las citas de textos en idiomas distintos del castellano son mías.

³ “Todo esto conduce al paradójico resultado de que Galileo se equivocó en el campo de la ciencia y los eclesiásticos en la teología, mientras que éstos acertaron en los terrenos científicos y el astrónomo en la exégesis” (Brandmüller 1987, 177–178).

papal de que el sistema de Copérnico *no había sido confirmado por pruebas irrefutables*. No me interesa aquí tratar la cuestión más general acerca del contenido de verdad –o la falta de él– que poseen las hipótesis y teorías científicas, y que se enmarca dentro del debate del realismo científico en la filosofía de la ciencia. Lo que quiero evaluar son los motivos históricos y epistémicos que Galileo poseía que lo invitaban a hacer una lectura realista de sus propias hipótesis. La diferencia es central: una cosa es debatir qué motivos filosóficos puede tener, en general, cualquier científico para considerar o no a sus teorías como una descripción –al menos– aproximada de la realidad, y otra es debatir qué elementos tenía un científico en particular, en su contexto histórico y científico, para verse inclinado por una y otra opción. Mientras que el primero es un debate netamente filosófico, el segundo posee una gran carga histórica.

Es fundamental, para que una teoría tenga la pretensión de ser aceptada por la comunidad científica, que tenga una razonable adecuación empírica. En ese sentido la hipótesis copernicana, cuyo objeto único eran las posiciones celestes de los astros, pasaba la prueba con comodidad. Respecto de las posiciones celestes, dado que, en términos generales, la hipótesis copernicana no es más que una conversión de la posición de los círculos deferentes y epiciclos de la astronomía ptolemaica, naturalmente las predicciones hechas por ambas hipótesis son equivalentes.⁴ La coherencia buscada, no obstante, no termina con las observaciones. Siempre es conveniente que la teoría en cuestión sea también coherente con las otras teorías aceptadas en la comunidad científica. De hecho, este es uno de los argumentos más utilizados en favor del realismo científico: si las teorías son coherentes con las observaciones y también con las otras teorías, entonces es razonable suponer que son verdaderas (Boyd 1984, 58–59). La hipótesis copernicana tenía, en este sentido, un grave problema: el movimiento de la Tierra introducía,

⁴ Hay, sin embargo, excepciones. Como veremos luego, Copérnico se negó a introducir el llamado punto ecuante en sus modelos. Este elemento constituye una parte esencial a los modelos ptolemaicos. Por ese motivo Copérnico se vio obligado, para conservar la exactitud predictiva, a introducir otro elemento teórico, el llamado *epiciclo menor*. Las predicciones resultantes, sin embargo, no son exactamente equivalentes. Estos cambios afectan a todos los modelos, excepto al del Sol y las estrellas fijas.

de modo claro, un postulado que contradecía a la física aceptada en la época, la cual, en sus aspectos más fundamentales, continuaba siendo idéntica a la que Aristóteles había propuesto casi veinte siglos antes. Una cuestión interesante al respecto, y que es objeto del artículo, es cuál era la relación entre la física aristotélica y la astronomía ptolemaica al momento de la aparición de la obra copernicana, y del comienzo de la disputa galileana.

2. Realismo de Ptolomeo y la postura galileana

En más de una oportunidad ha sido señalado el posible influjo que las tesis de Pierre Duhem han tenido en las conclusiones de la Comisión (Artigas 2003, 757). Duhem fue uno de los fundadores de la filosofía de la ciencia moderna. Sus discusiones acerca del tema mostraron que la cuestión acerca de la relación entre la verdad de las teorías científicas y su éxito o adecuación empírica tienen una variedad de vetas y matices profundos. Su tarea mostró, además, que es imposible llevar adelante una investigación seria en filosofía de la ciencia sin estar al tanto de la historia de las disciplinas acerca de las cuales se va a hablar. En ese sentido, su trabajo fue notable. Fue, sin dudas, el fundador de la historiografía de la ciencia en la edad media. En su tarea en ese campo, según su propio testimonio, no estaba ausente el espíritu apologético⁵: no se cansaba de argumentar no sólo acerca de la riqueza de las discusiones científicas durante la pretendidamente oscura edad media, sino acerca del rol que la Iglesia tuvo en el nacimiento de la ciencia moderna. La doctrina de la libertad divina en la Creación o, lo que es lo mismo, acerca de la contingencia del modo en que Dios hizo al mundo, supuso, según Duhem, el incentivo fundamental que los sabios medievales tuvieron para lanzarse a observar y teorizar acerca del mundo natural (Jaki 1991, 262). Es razonable, entonces, que las tesis de Duhem hayan tenido un gran impacto en el modo en que la Iglesia ha leído contemporáneamente el caso Galileo.

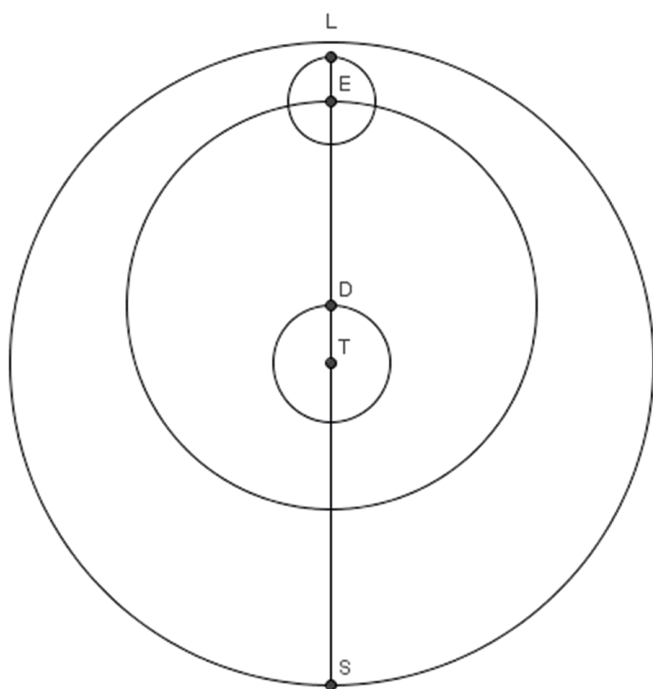
⁵ Crf., al respecto, su Carta sobre Dos Nuevas Cátedras para las Universidades Católicas, (Jaki 1991, 235–240).

La exposición de la postura filosófica de Duhem excede la ponencia. Baste indicar, sin embargo, que su posición transita un delicado equilibrio entre el instrumentalismo antirealista y alguna forma de realismo estructural, por ponerlo en términos modernos.⁶ Si bien las predicciones asombrosas son argumentos en favor de la verdad de ciertas teorías –o al menos de ciertas partes de ellas–, según Duhem “[...] las hipótesis de la física son meras construcciones matemáticas cuyo fin es salvar los fenómenos” (Duhem 1969, 117). En *Salvar los fenómenos*, Duhem dedica varios capítulos a mostrar cómo su posición encuentra numerosos predecesores, siendo Ptolomeo el más notable de todos ellos: “[...] Ptolomeo pretende indicar [...] que los muchos movimientos que compone en el *Almagesto* para determinar la trayectoria de un planeta no tienen ninguna realidad física [...]” (Duhem 1969, 17). Es por ello que, según Duhem, la pretensión galileana de asignarle una realidad física a su hipótesis estaba errada no sólo por principio, sino que contrariaba la mejor tradición astronómica: pretender que la astronomía dice cómo es el cosmos es, como ya lo sabía Ptolomeo, ir más allá de las posibilidades de la astronomía. En la disputa “[...] la lógica estaba del lado de Osiander, Belarmino y Urbano VIII, y no del de Kepler y Galileo, [...] los primeros habían comprendido las implicancias exactas del método científico, y [...] respecto a esto, los segundos estaban equivocados.” (Duhem 1969, 113). A continuación voy a discutir la idea de que las pretensiones realistas de Galileo contradecían la posición que la tradición astronómica precedente tenía respecto de la verdad de las teorías astronómicas.

Uno de los argumentos más fuertes para la interpretación de Ptolomeo como un astrónomo cuya único objetivo era “salvar los fenómenos”, esto es, construir modelos que permitan predecir correctamente la posición de los astros en la esfera celeste, es aquél que se construye a partir del estudio del modelo lunar del *Almagesto*. Allí, para poder dar cuenta del complejo movimiento en longitud de la Luna, Ptolomeo construye un modelo donde la misma se mueve sobre un epiciclo, el cual a su vez se mueve sobre un deferente excéntrico móvil, que gira en torno a la Tierra (Ptolomeo 1984,

⁶ Cfr. (Psillos 1999, 26–38) para un estudio más detallado de la epistemología de Duhem.

220–226). Un aspecto clave de su segundo modelo lunar es el hecho de que el epiciclo lunar se acerca en las cuadraturas –el Cuarto creciente y el Cuarto menguante–, mientras que se aleja durante las sicigias –la Luna llena y Luna nueva–. Este hecho, sumando a la variación de distancia causado por el movimiento de la Luna sobre el epiciclo, hacen que en ciertas ocasiones la Luna se encuentre, en su modelo, a una distancia mucho mayor que en otros.

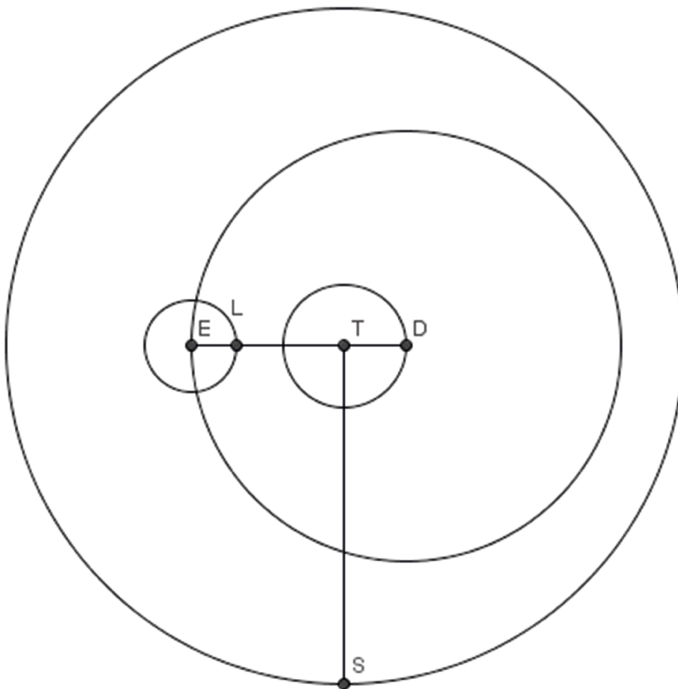


1. Diagrama del modelo lunar ptolemaico en una Luna llena

En la fig. 1 la Tierra es T, en torno a la cual se mueve el centro D del deferente, sobre el cual se mueve el centro E del epiciclo. La Luna L se mueve, a su vez, sobre el epiciclo. El círculo exterior representa a la eclíptica, en la cual S es la longitud del Sol. De ese modo, esta configuración representa

a una Luna llena, donde el centro del epiciclo lunar –y la Luna misma– se encuentran a 180° de elongación.

El modelo ptolemaico para las longitudes lunares indica los radios de cada círculo, excepto el de la eclíptica, en una unidad de medida arbitraria que Ptolomeo llama “parte”. En esa unidad, Ptolomeo determina a través de observaciones y complejos cálculos que la excentricidad TD del deferente es igual a 10,3 partes. El radio DE del deferente mide, a su vez, 49,65 partes. El radio EL del epiciclo mide, por último, 5,25 partes. En una sicigia como la representada, entonces, entre el observador y la Luna hay una distancia 65,2 partes.



2. Diagrama del modelo lunar ptolemaico en un Cuaro menguante

En la fig. 2 cada punto representa lo mismo, sólo que ahora la configuración corresponde a un momento de cuadratura, cuando el centro del epiciclo y la Luna misma se hallan a 90° del Sol. En esta situación, donde el centro del epiciclo se acerca máximamente al observador, se da también que la Luna se encuentra en el punto del epiciclo más cercano a la Tierra, de tal modo que, para obtener la distancia desde la Luna al observador hay que restarle al radio DE del deferente las distancias correspondientes a la excentricidad TD del mismo, y el radio EL del epiciclo. La distancia obtenida es 34.1 partes, es decir, casi la mitad.

La dificultad obvia que este modelo presenta es que si la distancia lunar presentara variaciones tan drásticas, esto se vería reflejado en variaciones igual de drásticas en la radio angular que la Luna presentaría: básicamente veríamos que la Luna es el doble de grande en ciertos momentos, y la mitad en otros. Esto es manifiestamente contrario a lo que vemos en el cielo.

El argumento entonces supone, razonablemente, que es imposible que Ptolomeo no haya percibido esta falta de adecuación empírica de su modelo. Sin embargo es un hecho que Ptolomeo ni siquiera lo menciona en el *Almagesto*. Una respuesta es que Ptolomeo no buscaba con sus modelos representar el mundo tal y como es, sino sólo diseñar modelos geométricos que permitieran calcular las posiciones celestes para cualquier momento dado. Este es, ciertamente, un modo de solucionar el problema.

Hay, no obstante, otro modo de considerar la cuestión. En el capítulo 13 del libro V del *Almagesto* (Ptolomeo 1984, 247–251) el astrónomo se propone calcular distancia de la Luna a la Tierra a partir de observaciones de paralaje. Puesto que sabía que la distancia variaba debido al acercamiento y alejamiento del epiciclo a la Tierra por un lado, y al movimiento de la Luna sobre el epiciclo por el otro, decide buscar la distancia de la Luna media –el centro del epiciclo– en las sicigias, pero también en las cuadraturas. Esto es ya indicativo de que esas variaciones de distancia eran para el astrónomo algo más que aspectos accidentales de una teoría que pretendía tratar sólo con longitudes. Pero no es lo único. Ahora bien, supongamos por un momento que Ptolomeo pensaba que su modelo para las longitudes no era meramente un instrumento de cálculo, sino que describía al menos apro-

ximadamente el modo en que el cosmos está estructurado. Si suponemos esto por un instante y nos preguntamos con Ptolomeo ¿en qué momento del mes sinódico conviene medir la paralaje lunar?, la respuesta obvia va a ser durante una cuadratura, pues es en ese momento cuando su modelo le dice que la Luna se encuentra más cerca, y por lo tanto, cuando es más fácil percibir paralaje. Si por otro lado Ptolomeo consideraba que ese acercamiento del epiciclo lunar no era más que una ficción para permitir cálculos más exactos, no había razón para realizar la medición allí. De hecho hacerlo en ese momento significaba poner bajo la lupa el aspecto más problemático de su modelo lunar.

Sin embargo Ptolomeo elige casi exactamente ese momento: mide la paralaje cuando la Luna se encuentra a $78,20^\circ$ de elongación (Ptolomeo 1984, 247), prácticamente una cuadratura. A partir de su medición calcula que la distancia en una cuadratura exacta es de 38,75 radios terrestres, mientras que en una sicigia es de 59 radios terrestres. Este último valor es el que corresponde, muy cercanamente, al valor promedio real de la distancia lunar. Obviamente Ptolomeo forzó mucho las observaciones en la cuasi cuadratura de tal modo que, tomando en cuenta las características geométricas de su modelo, la distancia en las sicigias, que ya había sido obtenida en esa época por mediciones independientes, coincidiera con la distancia conocida. Esta clase de maniobras indican, no obstante, que Ptolomeo se tomaba con mucha seriedad las consecuencias que sus modelos para las longitudes implicaban para otros aspectos como las distancias reales a los astros.

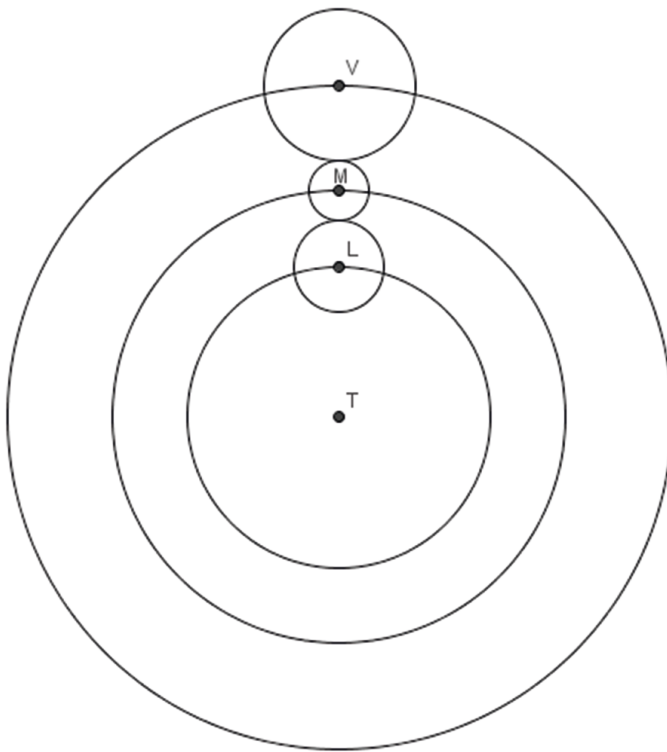
Hay otro ejemplo, sin embargo, que es incluso más persuasivo respecto del realismo de Ptolomeo. Las *Hipótesis Planetarias* (Ptolomeo, 1987) es una pequeña obra donde Ptolomeo nos ofrece la imagen física de su universo. Sabemos que ésta obra es posterior al *Almagesto* porque en varios lugares el propio autor lo cita explícitamente. Su historia fue bastante turbulenta. La edición clásica de las obras ptolemaicas es la edición crítica de Heiberg. En el año 1907 editó las *Opera Minora*, donde se encontraba la que nos interesa. El primer traductor de la parte que se encontraba en árabe, Nix, murió en medio de la traducción. Los traductores de la edición de Heiberg que le siguieron, Bohl y Heegaard, continuaron, pero saltaron

inadvertidamente una sección. Luego algunos estudiosos, a partir de referencias árabes (Goldstein, 1967), llegaron a la conclusión que había una parte faltante. El tema no nos interesaría demasiado si no fuera porque precisamente en esa parte es donde Ptolomeo expone con toda precisión su *systema mundi*. Desde siempre se había supuesto una inspiración de Ptolomeo en la creación del esquema del universo de la astronomía árabe, con sus distancias y tamaños. En ningún lugar del *Almagesto* o de otra de sus obras, sin embargo, constaba un catálogo de datos que justificaran tal afirmación. A mediados del siglo XX los investigadores, sospechando que la obra donde originariamente constaba esa colección de datos eran justamente las *Hipótesis*, comenzaron a hacer un relevamiento del material disponible. Finalmente encontraron la pieza faltante a la edición de Heiberg en los propios microfilmes del gran traductor: exactamente allí estaba todo lo que faltaba para comprender la secular atribución que la tradición había dado a Ptolomeo. El relato nos interesa porque la aparición del capítulo significó un cambio importante en el modo en que se apreciaba la postura epistemológica del astrónomo alejandrino. ¿Qué encontraron, pues, los investigadores en el texto largamente perdido?

Luego de presentar una especie de esquema de las principales teorías delineadas en el *Almagesto*, la segunda parte del libro I nos enseña un método para calcular no sólo la distancia Tierra-Sol, sino también la de todos los planetas, y aún la de las estrellas fijas. Como indica al inicio, la distancia de los astros, excepto la Luna, es imposible de medir con el método de la paralaje, pues están demasiado lejos como para que sea perceptible. Se limita a repetir lo que ya en el *Almagesto* había señalado respecto del orden de los planetas: si bien no hay modo de demostrar cuál orden es el adecuado, la opinión mayoritaria es la que no dice que luego de la Luna –el único caso donde podemos tener certeza– está Mercurio, luego Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno. Más allá, las estrellas fijas.

El método de Ptolomeo para construir su sistema del mundo parte de dos supuestos: en primer lugar, que los astros están ubicados según el orden recién señalado. En segundo lugar, y aquí está la verdadera novedad, que la máxima distancia de un astro respecto de la Tierra coincide con la mínima

distancia del siguiente en el orden celeste. Este supuesto descansa en la idea de que no hay nada en la naturaleza que exista en vano, ni siquiera un espacio físico. Si a esta base se le ingresan los datos que nos llegan desde el *Almagesto*, es decir, la distancia en radios terrestres de la Luna, la cual obtuvo por medio de la medición de la paralaje, y las distancias máximas y mínimas de los demás planetas en términos proporcionales, entonces con facilidad podemos conocer a qué distancias se encuentran los planetas en radios terrestres, y aún más: cuál es, en esa unidad de medida, el diámetro total del universo.



3. Diagrama simplificado de las distancias planetarias

En la fig. 3, donde la Tierra es el centro T, el primer deferente con epiciclo centrado en L es el de la Luna. Para la Luna Ptolomeo conoce, por la medición de paralaje, la máxima distancia. Agregándole la hipótesis de que no hay espacios vacíos entre los círculos celestes, Ptolomeo supone que la distancia máxima del epiciclo lunar coincide con la distancia mínima del epiciclo de Mercurio, con centro en M. Puesto que a su vez conoce la proporción entre la mínima y máxima distancia de Mercurio, puede calcular esas distancias en radios terrestres. Luego hace lo mismo para la distancia de Venus, cuyo epiciclo tiene centro en V, y así para todos los demás astros, hasta la esfera de las estrellas fijas, cuya distancia calcula en 19.885 radios terrestres.

Ahora bien, los modelos que Ptolomeo utiliza para el cálculo son modelos diseñados para dar cuenta de la posición de los astros en el cielo, pero no para conocer sus distancias. El razonamiento ptolemaico, no obstante, parece indicar que para él, puesto que los modelos permitían predecir con tanta exactitud las posiciones planetarias, estarían reflejando las características fundamentales de cómo está estructurado el cosmos. Las distancias radiales a la Tierra, que resultaban de los modelos aunque de un modo “accidental”, debían también, por tanto, ser correctas. Y por ello era lícito usarlas en ese sentido.

De este modo queda debilitada la percepción de Ptolomeo como un instrumentalista, cuyo único fin era calcular posiciones celestes, y aparece un Ptolomeo comprometido la capacidad de sus modelos para hablar acerca del modo en que realmente el cosmos está constituido.

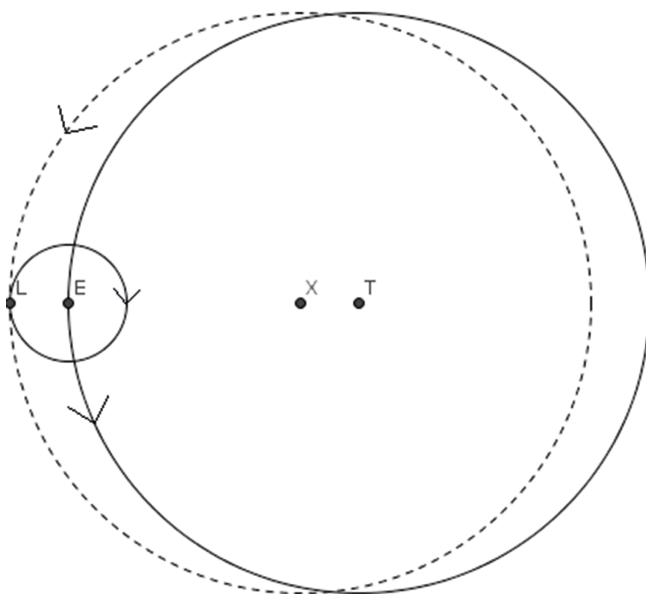
Si esto fuera así, Galileo, al interpretar el modelo copernicano como un modelo que, por su simplicidad, debía ser considerado como un serio candidato para ser la hipótesis que efectivamente describe el modo según el cual el cosmos está estructurado, no estaría, como pretende Duhem y quienes como él opinan, yendo en contra de la tradición astronómica, la cual se abstenía de pronunciarse en esos temas, sino que se estaría ubicando precisamente en el centro de la misma, con Ptolomeo como su principal y más grande predecesor. Un ensayo de Galileo de 1615 titulado *Consideraciones acerca de la opinión copernicana* (Finocchiaro 1989, 70–86) parece indicar que así se veía a sí mismo Galileo respecto del gran astrónomo de la antigüedad. Algunos, dice Galileo, consideran que Ptolomeo distinguía entre dos tipos

de hipótesis: las primarias, que eran aquéllas demostradas por la filosofía, y que enseñaban que la Tierra estaba quieta, que era esférica y pequeña en relación al cosmos, etc. Estas serían aquéllas con las que Ptolomeo en cuanto filósofo estaba comprometido. El Ptolomeo astrónomo, no obstante, y para dar cuenta de los movimientos irregulares de los planetas, habría introducido hipótesis secundarias como la existencia de epiciclos y deferentes excéntricos, que él bien sabía eran incompatibles con el resto de su filosofía, pero que tenían como único fin el calcular las posiciones de los astros. Esta distinción, dice Galileo, de ningún modo pudo ser la de Ptolomeo:

[...] esto sucede cuando se dejan persuadir [por la opinión que dice que] las hipótesis secundarias son consideradas quiméricas y ficticias por Ptolomeo y otros astrónomos serios, y que en realidad las consideran físicamente falsas e introducidas únicamente por mor de los cálculos astronómicos. El único apoyo que encuentran para esta extraña opinión es un pasaje en Ptolomeo donde, no pudiendo observar más que una anomalía simple en el Sol, escribió que para dar cuenta de ella uno podía tomar la hipótesis de una simple excéntrica o aquélla de un epiciclo en una concéntrica, y agregaba que elegía la primera por ser más simple que la segunda; a partir de estas palabras algunos argumentan muy superficialmente que Ptolomeo no consideraba necesaria, sino enteramente ficticia, tanto ésta como aquélla suposición, puesto que dijo que ambas son igualmente convenientes, mientras que una y sólo una puede ser atribuida al comportamiento del Sol. (Finocchiaro 1989, 77)

El pasaje al que se refiere Galileo se encuentra en el capítulo 3 del libro III del *Almagesto* (Ptolomeo 1984, 141–153), dedicado enteramente a la teoría solar. Allí efectivamente Ptolomeo muestra que, a lo largo del año, el Sol no se mueve en torno a la Tierra según un movimiento uniforme. El hecho de que las estaciones tengan duraciones desiguales muestra que el movimiento del Sol por la eclíptica varía en su velocidad angular. Ptolomeo demuestra allí que esto puede ser resuelto de dos maneras igualmente efectivas. La primera es suponer que el Sol se mueve uniformemente sobre un deferente excéntrico a la Tierra en el sentido de los signos, y la segunda es suponer que se mueve en sentido contrario a los signos sobre un epiciclo, cuyo centro se mueve, aunque a la misma velocidad, en el sentido de los signos. Es condición

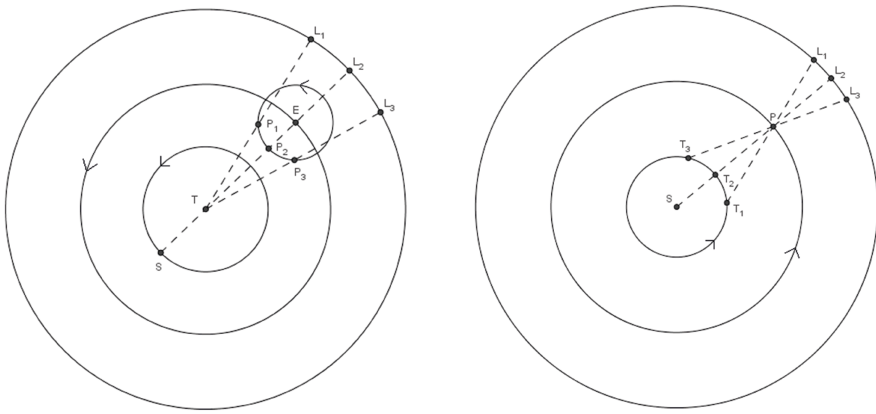
necesaria que el radio del epiciclo sea igual a la excentricidad del primer método, o al menos que se mantengan las proporciones.



4. Diagrama que representa la equivalencia entre ambas hipótesis

En la fig. 4 están representadas ambas hipótesis. El deferente geocéntrico, con centro en T, tiene un epiciclo con centro en E que gira en sentido opuesto, llevando al Sol con él. El deferente excéntrico con centro en X se mueve en el mismo sentido que el deferente geocéntrico. Ptolomeo demuestra que, si se cumplen las condiciones indicadas más arriba, la posición de L será exactamente la misma en todo momento. Como dice Galileo, Ptolomeo, contradiciendo a sus predecesores, elige el modelo de deferente excéntrico, porque considera que es más simple. La comparación con el caso copernicano es obvia: dado que el sistema de Copérnico es más simple respecto de ciertos problemas, entonces es razonable suponerla como la hipótesis verdadera. El ejemplo paradigmático de esta simplicidad respecto del mo-

delo ptolemaico se halla en el modo en que cada uno explica un fenómeno conocido desde tiempos antiguos: el hecho de que el momento medio de las retrogradaciones de los planetas superiores⁷ se de siempre cuando los mismos se hallan en oposición. Mientras que en un modelo ptolemaico esta coincidencia sólo se da si se ajustan los valores de las velocidades del Sol, del epiciclo sobre el deferente, y del planeta sobre el epiciclo, para que así suceda, en el caso de un modelo geocéntrico, la coincidencia se deriva necesariamente de la estructura misma del modelo.



5. Diagrama que representa una retrogradación en un sistema ptolemaico de epiciclo y deferente, y en un sistema heliocéntrico⁸

En la fig. 5 vemos, a la izquierda, una representación esquemática de una retrogradación de un planeta superior P en un sistema ptolemaico. En el centro se encuentra la Tierra T, en torno a la cual se mueve, también, el Sol S. El círculo exterior representa el fondo de estrellas, que sirve como referencia para la medición de longitud celeste. El movimiento del planeta

⁷ En el caso de los planetas inferiores, Mercurio y Venus, esta configuración es inobservable, dado que en esos momentos se encuentran a la misma longitud que el Sol, que con su brillo los oculta.

⁸ En ambos casos he realizado simplificaciones por mor de la claridad expositiva.

sobre el epiciclo desde P_1 hasta P_3 , pasando por la posición intermedia P_2 , hace que, visto desde T , el planeta retrograde desde L_1 hasta L_3 , pasando por la longitud intermedia L_2 , respectivamente. Para lograr que, en el modelo, la posición P_2 del planeta sobre el epiciclo coincida con el momento de oposición del planeta –es decir, con el momento en que la distancia angular del planeta respecto del Sol es 180° –, es necesario determinar los parámetros del mismo de un modo muy preciso. En el caso de una retrogradación en el sistema heliocéntrico –representada de modo esquemático a la derecha– la situación es mucho más simple. La retrogradación del planeta desde L_1 hasta L_3 , pasando por la longitud intermedia L_2 , depende también del movimiento de la Tierra desde T_1 hasta T_3 , pasando por la posición intermedia T_2 , respectivamente. El momento central de la retrogradación, entonces, se da cuando la Tierra “sobrepasa” al planeta en su movimiento en torno al Sol, es decir, cuando la Tierra cruza la línea que une al Sol con el planeta. De ese modo, es absolutamente necesario que la longitud media durante una retrogradación suceda cuando, visto desde la Tierra, el planeta se halla en oposición. Esto significa que mientras que en el modelo ptolemaico hay que introducir parámetros *ad hoc* para explicar la coincidencia entre momento medio de la retrogradación y oposición del planeta, en un modelo heliocéntrico esta coincidencia surge naturalmente de la propia estructura del modelo. Es obvio que esta característica de simplicidad fue inmediatamente reconocida por los primeros astrónomos que estudiaron el modelo heliocéntrico de Copérnico, dado que la explicación de las retrogradaciones planetarias constituía uno de los problemas centrales de la astronomía al menos desde la antigua Grecia. Es a esta clase de simplicidad a la que alude Galileo cuando considera que es razonable suponer, al igual que Ptolomeo, que la hipótesis más simple es la verdadera.

La conclusión que extraigo es que hay muy buenos motivos para pensar que, al ubicarse dentro de la tradición realista respecto de los modelos geométricos de la astronomía, Galileo no estaba haciendo otra cosa que seguir una tradición que podía ser rastreada, al menos, hasta Ptolomeo. Además, creo que queda claro que Galileo era muy consciente de este parentesco epistemológico con el gran alejandrino, y que incluso lo usó

como apoyo de sus propias hipótesis que contradecían algunos aspectos centrales de la astronomía de Ptolomeo.

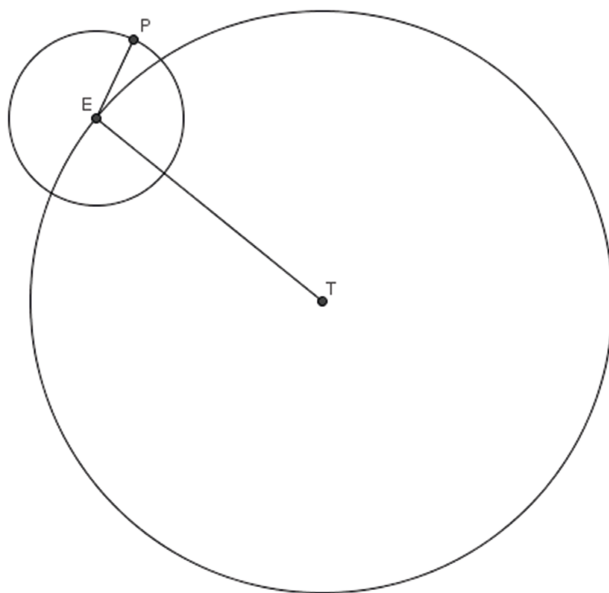
3. Problemas entre la astronomía de Ptolomeo y la física de Aristóteles

El otro aspecto a considerar es la cuestión entre física astronomía en la tradición astronómica precopernicana. La física de Aristóteles era coherente con una astronomía donde la Tierra estaba quieta en el centro a causa de la tendencia natural de los elementos más densos de dirigirse al centro del cosmos. Los movimientos circulares de los astros estaban explicados a través de la introducción de una clase particular de materia que no se corrompía, y cuyos movimientos eran circulares por naturaleza. Esta visión integral del cosmos, magnífica ciertamente, no podía sostenerse de modo coherente si se aceptaba que la Tierra no estaba quieta, que rotaba sobre sí misma y se movía en torno al Sol.

Este aspecto del heliocentrismo presenta, efectivamente, una gran dificultad, que no sería solucionada quizá hasta la publicación de los *Principia* de Newton. Más allá de esto, me interesa ahora señalar que la escisión había comenzado mucho antes, y que en tiempos de Galileo la cuestión acerca de la coherencia entre física y astronomía era una que llevaba varios siglos sobre la mesa. El origen del problema se encontraba en el *Almagesto*: la introducción del elemento teórico que luego sería conocido como punto ecuante supondría una dificultad de gran relevancia histórica en la tarea de desarrollar una física y astronomía unificadas.

En términos simples los modelos planetarios del *Almagesto* pueden describirse como un sistema en el cual hay un círculo mayor, llamado deferente, en cuyo interior se encuentra la Tierra, sobre el cual se mueve otro círculo menor, llamado epiciclo, sobre el cual a su vez se mueve el planeta. El movimiento del epiciclo sobre el deferente es en el sentido de los signos del Zodíaco, y el movimiento del planeta sobre el epiciclo es en el mismo sentido. Los círculos mencionados se encuentran aproximadamente en el mismo plano del cielo en el que el Sol y la Luna se mueven, lo que hace

que respecto del fondo de estrellas todos ellos se muevan en una banda de amplitud limitada, llamada desde tiempos antiguos Zodiaco. La complejidad del modelo, que aquí apenas fue esbozada, tiene su causa en las dificultades que los movimientos planetarios presentan.⁹

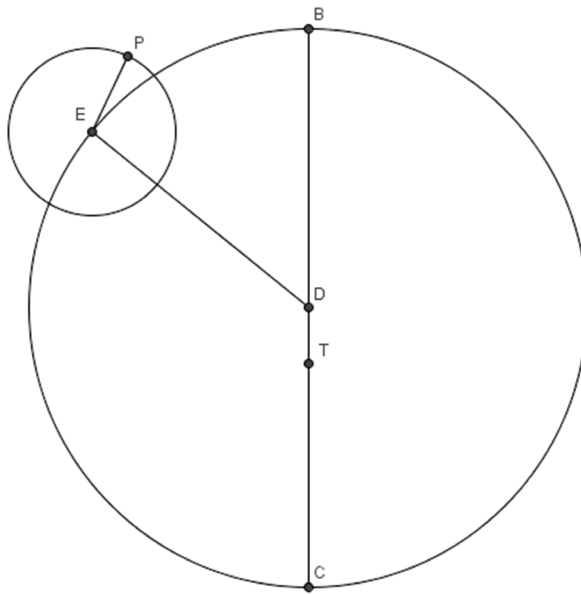


6. Diagrama del sistema planetario más simple. Aquí la Tierra es T, E es el centro del epíclon, y P es el planeta

Los planetas presentan, con variaciones, dos anomalías fundamentales: una, que él llamó la primera anomalía, se manifiesta de dos maneras. La primera de ellas es la distancia angular variable que el epíclon presenta al observador terrestre en distintos lugares del cielo. Mientras que en ciertos sectores la distancia angular es mayor, en otros es menor. La segunda es la

⁹ Según Ptolomeo (Ptolomeo 1984, 421), de hecho nadie antes que él tuvo éxito en explicar con precisión los movimientos de los planetas: Hiparco, su antecesor por tres siglos y, en muchos aspectos, su maestro, habría desistido de la empresa, contentándose con señalar los problemas que los sistemas que le eran contemporáneos tenían.

diferencia de velocidades angulares que el epiciclo presenta en distintos lugares del cielo. Mientras que en algunos sectores se mueve más rápido en términos aparentes, en otros lo hace de modo más lento.¹⁰ Es posible relacionar ambas manifestaciones por el simple hecho de que las observaciones indican que, a mayor tamaño aparente del epiciclo, mayor velocidad angular del mismo. Si bien no hay registros más allá de los indicios presentes en el *Almagesto*, es probable que la primera solución a esta anomalía sea preptolemaica. El modo en que ambas dificultades pueden ser explicadas es suponer una excentricidad del deferente respecto de la Tierra.



7. Diagrama con deferente excéntrico para solucionar la primera anomalía. Ahora el centro del deferente se ha movido hasta D. La Tierra y el centro del deferente determinan la línea absidal BC, sobre la cual se halla el apogeo B y el perigeo C del deferente

¹⁰ El epiciclo y su centro son, obviamente, inobservables. Ptolomeo determina sus posiciones, sin embargo, a través de razonamientos geométricos. Las principales observaciones que utiliza son de máximas elongaciones para los planetas interiores, y de oposiciones en los planetas exteriores.

Uno de los modos más obvios para explicar el aumento y disminución del tamaño del epiciclo es suponer que éste se acerca y se aleja del observador. Si se coloca al centro del deferente en la posición y distancias adecuadas de la Tierra es posible lograr que el lugar del cielo donde el epiciclo se ve más grande coincida con el apogeo del deferente, que aquél lugar donde se ve más pequeño coincida con el perigeo del mismo, y que los tamaños angulares predichos por el modelo coincidan con lo observado. Esta modificación tiene la virtud de explicar la segunda manifestación de la primera anomalía –o, como Ptolomeo también la llama, la anomalía eclíptica, pues sus variaciones son fijas respecto de la línea por donde se mueve el Sol, esto es, donde se dan los eclipses–. Pues resulta obvio que cuanto más cerca del observador se mueva el epiciclo sobre el deferente, mayor será su velocidad angular aunque, respecto del centro del deferente, la velocidad sea aún uniforme. Así, cuando el centro del epiciclo se halle en B se lo verá con el mínimo tamaño y la mínima velocidad angular posibles en el modelo, mientras que cuando se halle en C el fenómeno será el inverso.

La otra anomalía fundamental es la que Ptolomeo llama segunda anomalía. Se manifiesta en una variación de velocidad aparente del planeta en el cielo dependiendo de su distancia angular respecto del Sol. Este es el motivo por el cual en ocasiones Ptolomeo la llama anomalía en relación con el Sol. El planeta muestra, usualmente, un movimiento en el sentido del Zodíaco, es decir, de aumento en su longitud, la cual se mide en grados y tiene su origen de coordenadas en el inicio del signo Aries. En ciertos momentos su velocidad angular comienza a disminuir hasta que se detiene y comienza a moverse en sentido contrario a los signos del Zodíaco, es decir, comienza a decrecer su longitud zodiacal. Este fenómeno es llamado, por ese motivo, retrogradación. El planeta alcanza un máximo de velocidad angular en su movimiento de retrogradación para luego comenzar a disminuirla poco a poco, hasta alcanzar un nuevo punto estacionario, después del cual comienza nuevamente a moverse en el sentido del Zodíaco hasta alcanzar su máxima velocidad, para luego comenzar a detenerse, reiniciando el ciclo. La relación con el Sol está en que, por la relación entre las velocidades del planeta sobre el epiciclo, del epiciclo sobre el deferente, y del Sol en

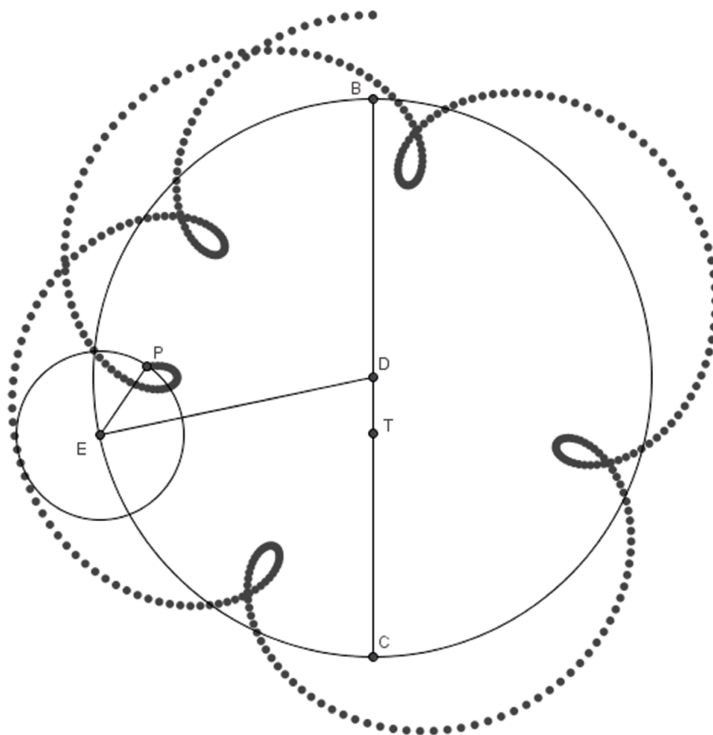
torno a la Tierra¹¹, Ptolomeo sabe que cada vez que el planeta alcance su máxima velocidad en retrogradación o, expresado de otro modo, cuando el planeta se halle en la mitad de la retrogradación, entonces se hallará en oposición respecto del Sol.¹² El modo que, al menos desde Apolonio, tenían los astrónomos griegos para dar cuenta de este espectacular fenómeno era la utilización de un epiciclo con idéntico sentido de movimiento que el deferente.

Según el esquema trazado en el título anterior, las relación entre anomalías y modelo quedó determinada del siguiente modo: 1) la primera anomalía se manifiesta de dos modos, a) variación de la amplitud angular del epiciclo y b) variación de la velocidad angular del epiciclo. Como dije, ambas manifestaciones están relacionadas de tal modo que cuando una crece la otra también, y cuando una disminuye la otra también lo hace; 2) la segunda anomalía se manifiesta fundamentalmente a través de las retrogradaciones: el planeta varía su velocidad en función de su elongación, alcanzando incluso valores negativos, y llega a su mínima velocidad justo en el momento de la oposición. Hasta Ptolomeo la explicación de 1.a) y 1.b) era la excentricidad, y la de 2) eran los epiciclos.

La aparición del punto ecuante está ligada a la relación entre 1.a) y 1.b). Como señalé, ambas manifestaciones de la anomalía crecían y decrecían juntas, alcanzando su máximo y mínimo valor en el mismo instante. Esta coincidencia era la causa de que efectivamente se las considerase meramente dos manifestaciones de una única anomalía. Si bien Ptolomeo aceptó estas coincidencias –y no tenía motivos para no hacerlo–, fue el primero en

¹¹ Ptolomeo describe esta relación diciendo que la suma de la velocidad del planeta sobre el epiciclo y la velocidad del epiciclo sobre el deferente es igual a la velocidad media del Sol en torno a la Tierra. Esta relación es conocida, aunque por supuesto expresada sin la carga teórica de los modelos geométricos ptolemaicas, al menos desde el Reino Antiguo babilónico.

¹² Estrictamente la oposición es respecto del Sol medio, es decir, de la posición hipotética que tendría el Sol si su movimiento fuera exactamente geocéntrico. Si bien para Ptolomeo esta coincidencia es completamente contingente, en un modelo heliocéntrico es necesaria, pues el medio de la retrogradación se da cuando la Tierra cruza la línea que une al Sol con el planeta, haciendo que la oposición sea ineludible.



8. Diagrama de la trayectoria del planeta gracias al movimiento combinado de epiciclo y deferente. Cada vez que el planeta se halla en la mitad de la retrogradación, aproximadamente en la “punta” del bucle, el Sol se halla, para el observador terrestre, a 180°

analizar en profundidad la relación de ambos fenómenos en otros puntos que no sean el apogeo o el perigeo.

Si observamos el diagrama 7, resulta obvio que, dados unos radios constantes para el epiciclo y para el deferente, habrá sólo un lugar donde el centro del deferente podrá estar para dar cuenta de la variación observada del tamaño aparente del epiciclo. En este caso, ese lugar está determinado por la distancia ED en una determinada dirección, más precisamente, hacia el

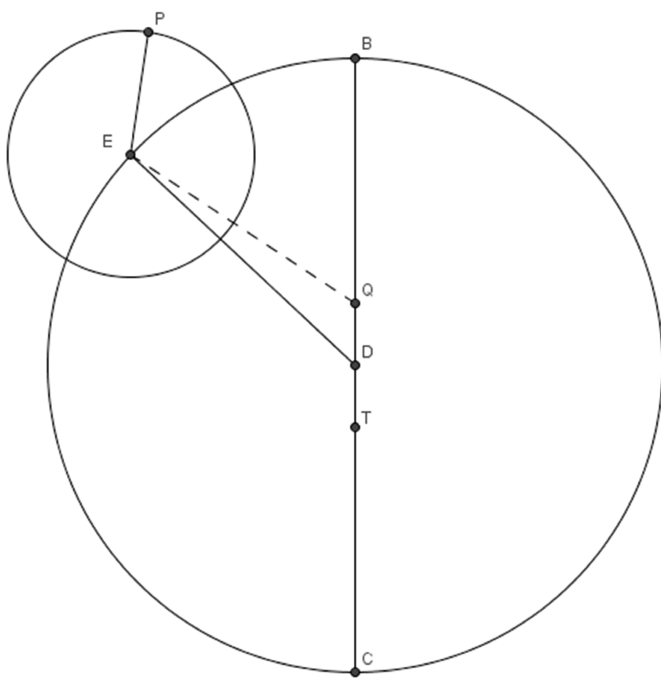
punto donde el tamaño aparente del epiciclo es el menor en todo el Zodíaco. Ahora bien, la posición del centro del deferente determina también cuáles serán las máximas y mínimas velocidades aparentes del epiciclo. Cuanto más grande sea la excentricidad de D^{13} mayor será la amplitud entre la máxima y mínima velocidad. En un esquema como el del diagrama la solución que se le da a la manifestación 1.a) determina la solución que se le dará a la 1.b), y viceversa.

La revolucionaria investigación ptolemaica consistió en analizar si las observaciones de la manifestación 1.b) eran coincidentes con la solución implícita para ella en la excentricidad necesaria para solucionar la manifestación 1.a). El desarrollo del cálculo está contenido en las secciones del *Almagesto* donde Ptolomeo construye sus modelos para los planetas interiores, en particular en el modelo de Venus (Ptolomeo 1984, 469–506). Basta señalar aquí que encontró que las observaciones no eran coincidentes. Más específicamente encontró que la amplitud entre la máxima y mínima velocidad era mayor que la que se derivaría de un centro de velocidad uniforme coincidente con el centro del deferente excéntrico que daba cuenta de la manifestación 1.a). El resultado de sus investigaciones lo llevó incluso a concluir que la distancia del centro de velocidad uniforme del epiciclo respecto de la Tierra es el doble que la distancia del centro del deferente a la misma. Es por eso que decidió separar al punto respecto del cual el centro del epiciclo se mantiene equidistante del punto respecto del cual el centro del epiciclo se mueve a velocidad uniforme. El primero siguió siendo, por supuesto, el centro del deferente, mientras que el segundo tomó el nombre de punto ecuante¹⁴.

En el diagrama se puede apreciar que un centro de velocidad uniforme en Q produce un aumento de velocidad angular mayor hacia B, y una disminución mayor también hacia C que si se encontrara en D –que ahora es sólo el centro del deferente–.

¹³ Para Ptolomeo la excentricidad corresponde efectivamente a D, pues E, la Tierra, es el centro del cosmos y el punto de referencia para cualquier posición.

¹⁴ El nombre es en realidad medieval, Ptolomeo lo llama diversas maneras, en general indicando que es el centro de la excéntrica en la cual el epiciclo se mueve uniformemente.



9. Diagrama del modelo con punto ecuante

El *Almagesto* de Ptolomeo, por su precisión, amplitud y coherencia interna, volvió obsoletas todas las obras astronómicas anteriores. Hubo en los primeros siglos d.C. varios comentarios, de los cuales poco nos ha llegado. La incorporación del punto ecuante no parece, sin embargo, haber despertado mayores resquemores en la comunidad científica alejandrina en particular o helenística en general. No obstante, a fines del siglo VIII y durante todo el IX la astronomía ptolemaica ingresó en el mundo árabe, compitiendo inicialmente con las tradiciones astronómicas autóctonas más primitivas y, sobre todo, con la tradición astronómica proveniente de la India. (Saliba, 1994: 51–55) La primera crítica a la astronomía ptolemaica respecto del punto ecuante de la que tenemos noticia es de la primera mitad del siglo XI, de un Ibn al-Haytham, que señaló la dificultad de conciliar

la física de Aristóteles, donde los objetos celestes son entes físicos que se mueven circularmente según un movimiento uniforme, con el punto ecuante, según el cual distintos puntos de una esfera celeste se mueven a velocidades distintas, cosa obviamente imposible para un objeto material rígido. Contemporáneamente a Ibn al-Haytham un discípulo de Avicena, Abu Ubayd al-Juzjani, realizó una crítica similar, sólo que dio un paso más, proponiendo una solución alternativa al ecuante ptolemaico. (Saliba, 1994: 85–112) Su modelo es sumamente instisfactorio, e incluso parece que no comprendió en absoluto el problema que Ptolomeo ataca con el punto ecunte. Su crítica, no obstante, representa el núcleo del problema:

Digo, entonces: en primer lugar, la falta de certeza en lo que concierne a la cuestión del ecuante es, como sabemos, que los cuerpos celestes no pueden tener movimientos variables en sí mismos de tal modo que se muevan más rápido en ciertos momentos y más lento en otros, tal como queda establecido en la ciencia física. (Saliba 1994, 89–90)

Al mismo tiempo Ibn al-Haitham publicó una obra llamada *Dificultades contra Ptolomeo*, que constituye un verdadero punto de partida para el nuevo programa de investigación de la astronomía árabe: la reconciliación entre astronomía y física, en cuyo divorcio el punto ecuante había tenido el papel fundamental. Qutb al-Din al-Shirazi, Ibn al-Shatir, Nasir al-Din al-Tusi fueron los nombres más imporantes que entre el Siglo XI y el siglo XV llevaron adelante esta reforma de la astronomía a través de la expurgación del punto ecuante de las teorías planetarias y de todo otro aspecto de los modelos de Ptolomeo que presentara dificultades análogas, como el caso del segundo modelo lunar¹⁵ en el *Almagesto*.¹⁶ El método general que siguieron todos ellos, con desigual éxito, fue el de reemplazar el punto ecuante con uno o más epiciclos adicionales, logrando así una aproximación al movimiento producido por el elemento teórico ptolemaico.

¹⁵ Allí el epiciclo lunar tiene su centro de velocidad uniforme en la Tierra, mientras el centro del deferente es excéntrico.

¹⁶ La astronomía árabe fue, por supuesto, mucho más que un replanteo teórico de los modelos ptolemaicos. Nuevos programas de observación a través de la construcción de grandes observatorios constituyeron uno de los pilares centrales del movimiento.

La Modernidad europea también tuvo sus campeones de la unificación. El propio Copérnico relata en el *Commentariolus*, una pequeña obra en forma de carta donde explica brevemente su sistema, que los trabajos astronómicos que culminaron con la hipótesis heliocéntrica comenzaron, al menos en parte, como la búsqueda del modo de erradicar al incómodo punto ecuante:

[...] las [teorías planetarias] más aceptadas, expuestas por Ptolomeo y los demás astrónomos, aunque consistentes con los datos numéricos, parecían también mostrar una dificultad no pequeña. Pues estas teorías no era adecuadas excepto si se suponían ciertos círculos ecuanes, que hacían que el planeta parezca moverse con velocidad uniforme en todo momento desde un lugar que ni era [el centro de] su esfera deferente ni su propio centro [el del epiciclo]. Esta clase de noción ni parecía suficientemente absoluta, ni suficiente para la mente. Así, conociendo éstos [defectos], muchas veces consideré si no sería quizá posible encontrar un conjunto de círculos más razonable, a partir del cual toda irregularidad aparente pudiera ser derivada mientras que todo se moviera uniformemente, como es exigido por la regla del movimiento perfecto. (Swerdlow 1973, 434–435).

La de Copérnico no era, sin embargo, la postura más extrema contra la astronomía ptolemaica. Algunos incluso buscaban volver a una astronomía homocéntrica, ajustada estrictamente a la física de Aristóteles. Para ellos la existencia misma de los epiciclos y de deferentes no geocéntricos era ya una afrenta a la física, la cual había sido debidamente demostrada por Aristóteles en el Liceo ateniense. En dedicación del libro *Homocéntricas* al Papa Pablo III en 1535, Fracastoro dice:

Hay dos maneras de dar cuenta de ellas [las apariencias en los astros]: una procede por medio de aquéllas esferas llamadas homocéntricas, la otra por medio de las así llamadas esferas excéntricas. Cada uno de estos métodos tiene sus peligros, cada uno sus piedras de escándalo. Aquéllos que emplean esferas homocéntricas nunca logran llegar a una explicación de los fenómenos. Aquéllos que usan esferas excéntricas llegan, es verdad, a una explicación más adecuada de los fenómenos, pero su concepción de éstos cuerpos divinos es errónea, uno podría decir impía, porque les asignan posiciones y formas que no son propias de los cielos. Sabemos que, de entre los antiguos, Eudoxo y Calipo fueron descarriados muchas veces por estas dificultades. Hiparco estuvo entre

los primeros que eligió admitir esferas excéntricas antes que encontrarse en falta frente a los fenómenos. Ptolomeo lo siguió, y pronto prácticamente todos los astrónomos fueron ganados por Ptolomeo. Pero contra estos astrónomos, o al menos contra la hipótesis de las excéntricas, toda la filosofía ha elevado una continua protesta. ¿Qué estoy diciendo? ¿La Filosofía? La Naturaleza y las esferas celestes mismas protestan incesantemente. (Duhem 1969, 49–50)

La hipótesis copernicana supuso, es verdad, una división más profunda. Pero los problemas entre física y astronomía eran claramente anteriores. La astronomía ptolemaica poseía problemas físicos extremadamente graves, y de los cuales los sabios de la época eran conscientes. Su sistema, sin embargo, era sostenido por muchos en la comunidad científica de la época. Al defender la hipótesis copernicana Galileo, obviamente, era también consciente de los problemas asociados respecto de la compatibilidad con la física de Aristóteles. Sin embargo el contexto mostraba que tales problemas no suponían un certificado de defunción para una teoría astronómica. Si la historia pretende juzgar equitativamente el papel de Galileo en la controversia copernicana, no debe echar demasiado peso en los problemas del heliocentrismo con la física aceptada del momento.

Conclusión

Al principio de este breve artículo se llamó la atención sobre la complejidad del caso Galileo. La ciencia astronómica, como cualquier otra empresa humana, está atravesada por factores que la exceden y que sin embargo la influyen, en ocasiones, de manera inesperada. El tema tratado aquí es apenas uno de estos tantos aspectos de la cuestión. Los resultados descriptos más arriba ayudan a ubicar de un modo más claro a Galileo dentro de una tradición astronómica secular, y muestran que, a pesar de sostener hipótesis astronómicas que ciertamente eran revolucionarias, el contexto epistemológico en el cual sus propuestas se ubicaban se engarza de modo armónico con la gran tradición de astrónomos que lo precedieron, en particular, a aquella definitiva y sólidamente fundada por Claudio Ptolomeo. Los ejemplos traídos a propósito de la cuestión del realismo científico ayudan a comprender

que, en ese sentido, Galileo era apenas el continuador de las tradiciones ptolemaica y árabe. Su pretensión epistémica de estar describiendo el modo real según el cual el Señor había creado el cosmos a partir, entre otras cosas, de la simplicidad de la hipótesis considerada tiene un claro antecesor en el astrónomo de Alejandría.

La cuestión de las relaciones entre física y astronomía muestra, también, un aspecto de continuidad entre Galileo y sus antecesores griegos y árabes. En este caso, no obstante, es una continuidad indeseable. Es obvio que los problemas que la introducción del punto ecuante supusieron para la relación entre ambas ciencias eran, ciertamente, cuestiones que reclamaban una solución. La incoherencia no es buena amiga de la ciencia. Eso, sin embargo, no significa que no puedan vivir juntas. De hecho, al menos desde hacía trece siglos ambos cuerpos teóricos, la astronomía ptolemaica y la física aristotélica, habían convivido en las comunidades científicas musulmanas y cristianas. Esta convivencia despertaba, como vimos, rispideces. No obstante ello, la experiencia mostraba que no era suficiente para derrumbar a ninguna de las dos partes. Ambos paradigmas existían juntamente. El advenimiento de la hipótesis heliocéntrica, con su Tierra móvil y fuera del centro del cosmos no creó un nuevo problema, sino que sólo volvió más tirante una relación que ya mostraba signos de conflicto desde hacía tiempo. Como señalé antes, ciertamente que el movimiento de la Tierra implicó un gran paso en ese camino de divorcio entre ambas partes. En ese sentido, la postura galileana fue en cierta manera novedosa. Espero al menos que la discusión precedente ayude a matizar un poco las responsabilidades, y permita comprender de un modo más claro la compleja relación entre física y astronomía en la época.

References

- Artigas, M. Sept.-dic. de 2003. Galileo después de la Comisión Pontificia. *Scripta Theologica* 35(3):753–784.
- Biblia de Jerusalén*. 1998. (E. d. Jerusalén, Trad.) Bilbao, España: Descleé de Brouwer.
- Boyd, R. 1984. “The current status of scientific realism.” In J. Leplin, *Scientific Realism*, pp. 41–82. Berkeley: University of California Press.

- Brandmüller, W. 1987. *Galileo y la Iglesia*. Madrid: Rialp.
- Duhem, P. 1969. *To save the phenomena; an essay on the idea of physical theory from Plato to Galileo*. Translated by E. Dolan and C. Maschler. Chicago: The University of Chicago Press.
- Finocchiaro, M. A. 1989. *The Galileo Affair; a Documentary History*. Los Angeles: University of California Press.
- Goldstein, B. Junio de 1967. "The Arabic Version of Ptolemy's Planetary Hypothesis." *Transactions of the American Philosophical Society* 3–55.
- Heilbron, J. 2010. *Galileo*. Oxford: Oxford University Press.
- Jaki, S. L. 1991. *Scientist and catholic: an essay on Pierre Duhem*. Front Royal: Christendom Press.
- Juan Pablo II. 31 de Octubre de 1992. *Discours aux participants à la session plénière de l'Académie Pontificale des Sciences*. Recuperado el 21 de noviembre de 2016, de Sitio Web de la Santa Sede: http://w2.vatican.va/content/john-paul-ii/fr/speeches/1992/october/documents/hf_jp-ii_spe_19921031_accademia-scienze.html
- Psillos, S. 1999. *Scientific Realism; How Science Tracks Truth*. New York: Routledge.
- Ptolomeo, C. 1984. "Almagest." In G. Toomer, *Ptolemy's Almagest*. Translated by G. Toomer, pp. 27–659. Princeton: Princeton University Press.
- Ptolomeo, C. 1987. *Hipótesis planetarias*. Edited by Perez Sedeño. Madrid: Alianza.
- Saliba, G. 1994. *A History of Arabic Astronomy: Planetary Theories During the Golden Age of Islam*. New York: New York University Press.
- Swerdlow, N. 1973. "The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the Commentariolus with Commentary." *Proceedings of the American Philosophical Society* 117(6):423–512.
- Toomer, G. J. 1984. *Ptolemy's Almagest*. Edited by G. J. Toomer, translated by G. J. Toomer. Princeton: Princeton University Press.